

TVホワイトスペースを活用した 災害・防災向けデータ伝送システム の周波数共用技術に関する検討

2013/9/27

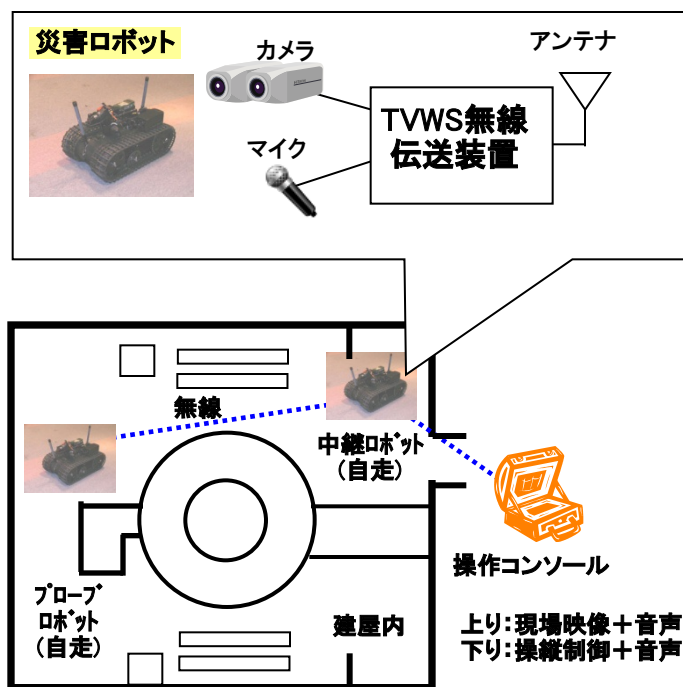
株式会社 日立製作所

1. アプリケーション:災害ロボット向け無線
2. 無線設備の諸元(案)
3. 他システムとの周波数共用条件の検討
4. 屋外漏洩電力の検討
5. 運用可能チャンネルの調査
6. 訓練場所、災害現場における運用(案)
7. まとめ

災害ロボットの定義

- 災害発生時等に、立ち入り制限されている環境(屋内等)で、使用されるロボット向け無線
- 関係機関へのヒアリングを通じてニーズを明確化⇒現場映像はVGA相当が必須、遅延も短く
- 上り: 現場の映像+音声、下り: ロボットの操縦制御信号+音声

災害ロボット向けシステム



**使用環境: 立ち入り制限区域
(例: 発電・産業プラント等の災害現場、屋内)**

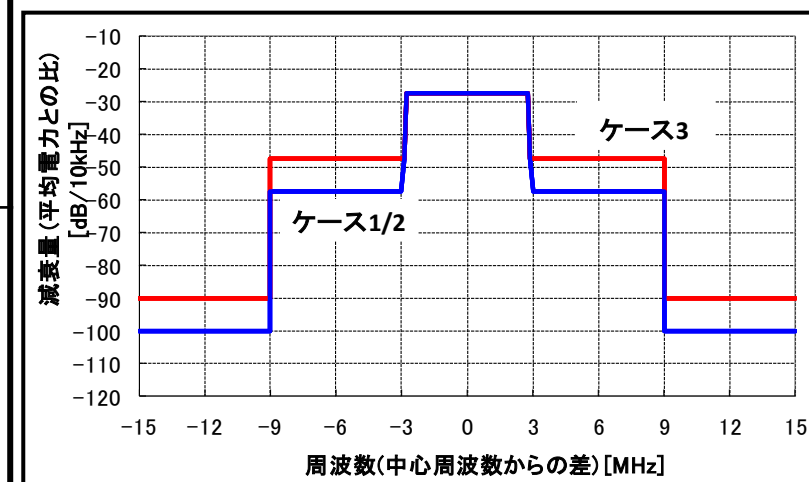
災害ロボットシステム要件

項目	内容
データ	上り: 映像VGA~SVGA、30フレーム程度の動画、音声 下り: 操縦制御+音声 ※上下非対称
通信距離	屋内、~数百m程度、典型例: 100m×100m ※操縦者が安全な場所から操作できること 角を曲がっても無線が届くこと グレーチングなど影響が少ないこと
電池寿命	2時間以上(連続走行の場合)
遅延時間	0.2~0.5秒以下 ※操縦制御が違和感なく実現できるレベルであること
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・災害時に優先使用希望(訓練での使用もあり) ・数台同時動作 ・中継機能 ・ロボットの移動速度は1~5km/h ・小型ロボットに取り付けられること ・安価であること

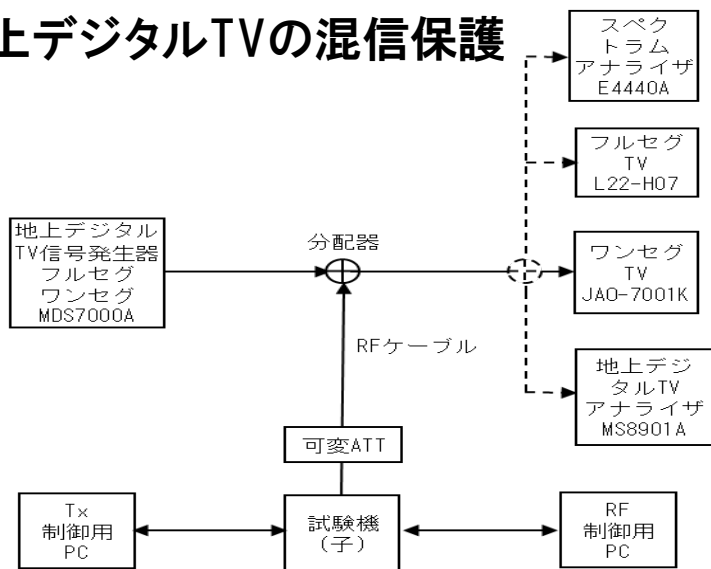
無線設備の諸元(案)

項目	技術的条件案
空中線電力	10mW(ケース1),100mW(ケース2),1W(ケース3) 許容値は+20%、-50%
最低受信感度	-80dBm
変調方式	OFDM-BPSK/QPSK/16QAM/64QAM
占有周波数帯幅	最大5.55MHz
周波数許容偏差	$\pm 20 \times 10^{-6}$ 以内
不要発射の強度の許容値	不要発射の強度は、次の通りであること。 ケース1 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が0.01nW以下であること。 ケース2 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が0.1nW以下であること。 ケース3 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が10nW以下であること。
隣接チャネル漏えい電力	隣接チャネル漏えい電力は次の通りであること ケース1及び2 搬送波の周波数から6MHz離れた周波数の ± 2.775 MHzの帯域内に輻射される平均電力が、搬送波のものより30dB以上低い値であること。 ケース3 搬送波の周波数から6MHz離れた周波数の ± 2.775 MHzの帯域内に輻射される平均電力が、搬送波のものより20dB以上低い値であること。
アンテナ	2.14dBi

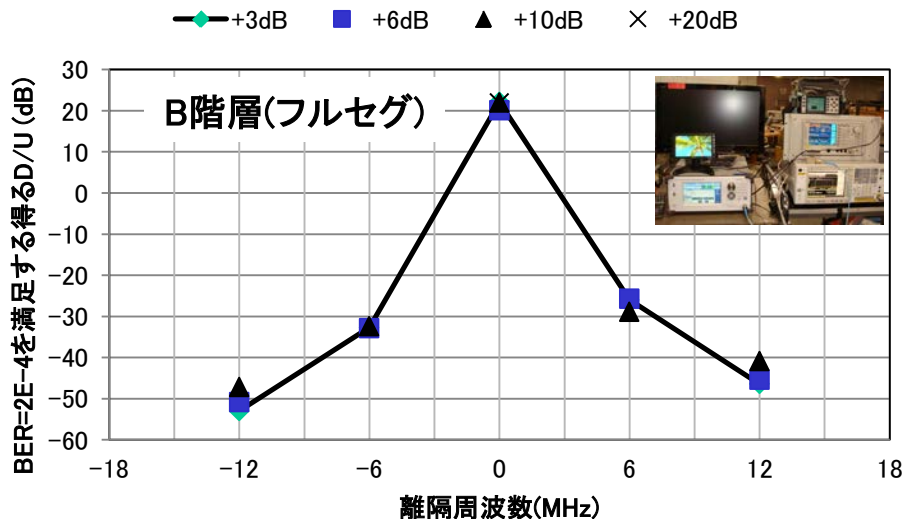
	ケース1	ケース2	ケース3
運用場所	準屋内	屋内通常	屋内大規模
運用場所の特徴	開口部のある、又は電波の減衰率が10dB以上見込めない建物内部	構造上10dB以上の減衰が見込める建物内部、地下等	災害時の立ち入り制限エリアにおいて30dB以上の減衰が見込める建物内部、地下等
最大送信電力	10mW	100mW	1W
屋外への最大漏洩電力	10mW	10mW	1mW



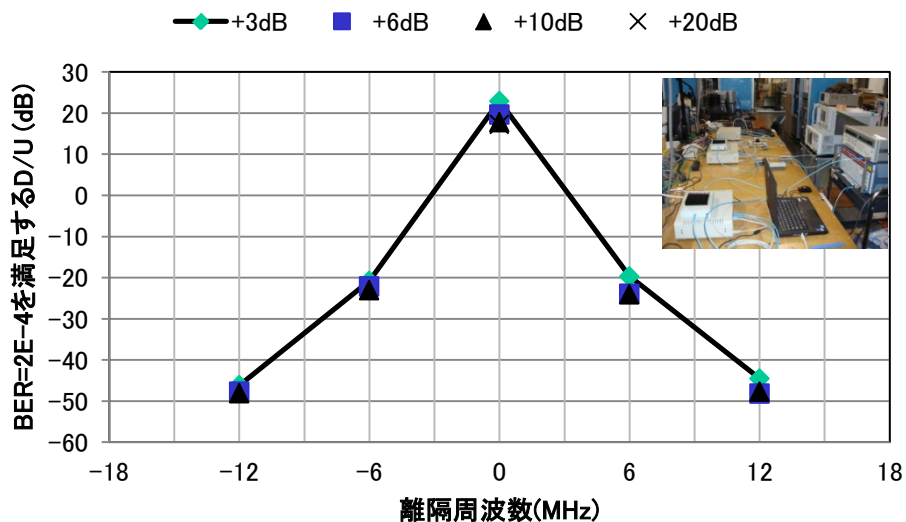
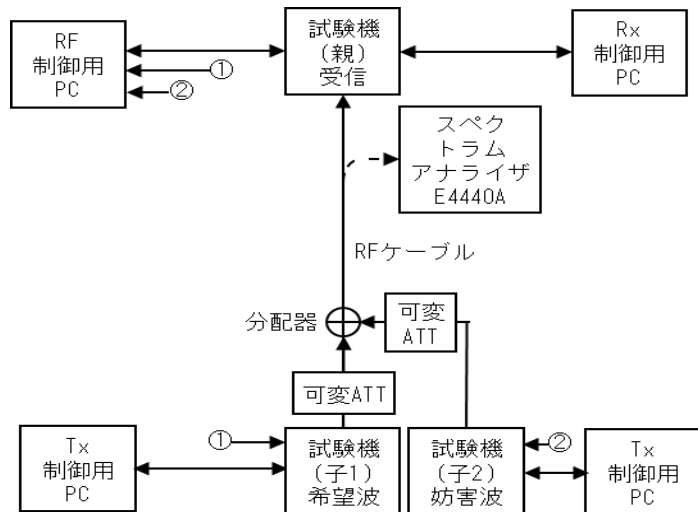
地上デジタルTVの混信保護



BER評価



自システム間の混信保護

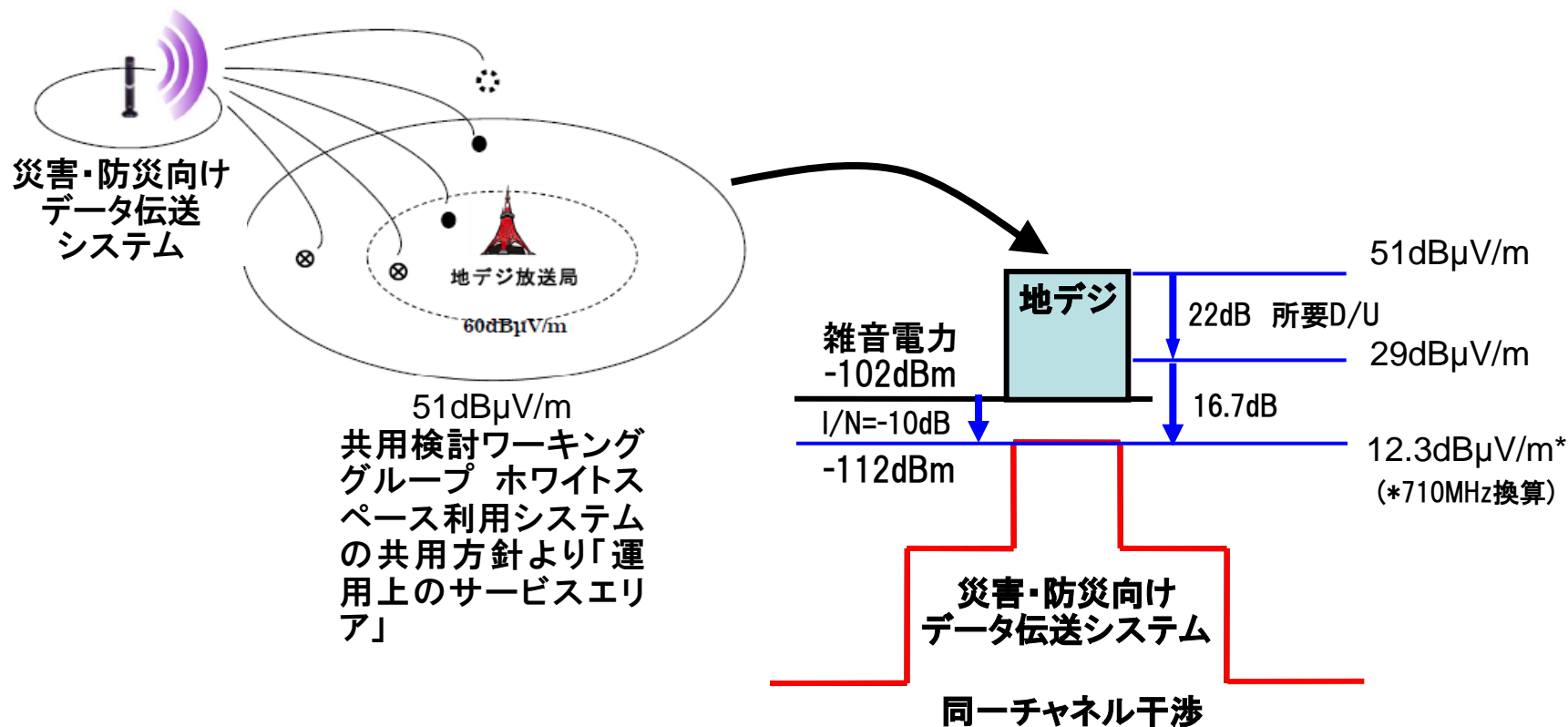


地上デジタルTVの混信保護比

希望波	妨害波	判定基準	DU比 (dB)		
			同一CH	隣接CH	隣々接CH
地上デジタルTV A階層(ワンセグ)	災害・防災向け データ伝送シス テム	$BER < 2 \times 10^{-4}$	> 8.8	>-43.2	>-49.2
地上デジタルTV B階層(フルセグ)	災害・防災向け データ伝送シス テム	$BER < 2 \times 10^{-4}$	> 22	>-21.4	>-33.7

自システム間の混信保護比

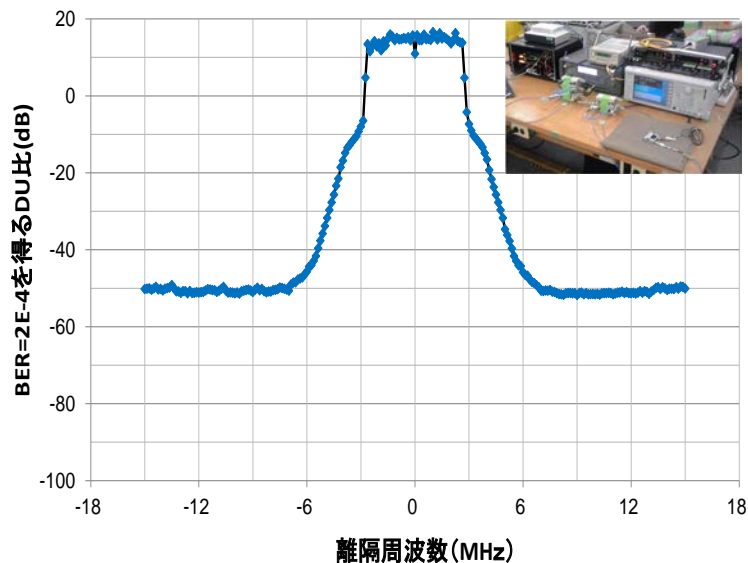
希望波	妨害波	判定基準	DU比 (dB)		
			同一CH	隣接CH	隣々接CH
災害・防災向け データ伝送シス テム	災害・防災向け データ伝送シス テム	$BER < 2 \times 10^{-4}$	> 22.9	>-17.8	>-44.5



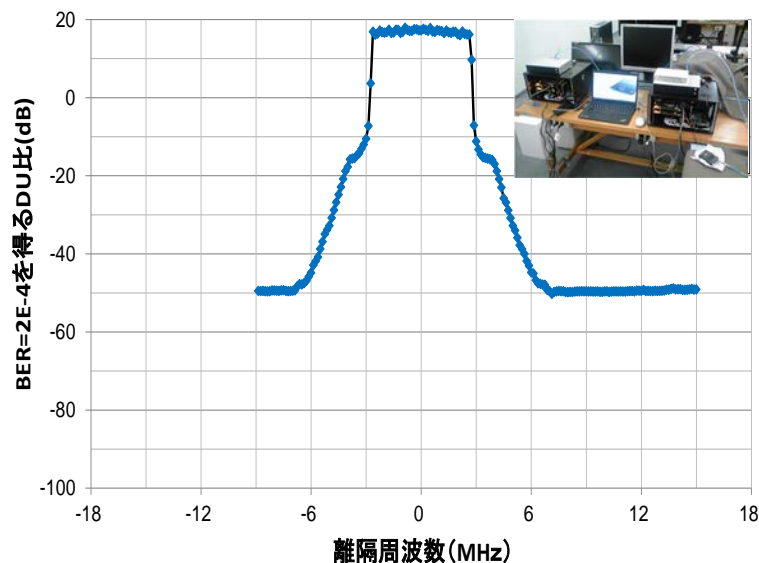
許容される混信波電力と雑音電力の比はI/N=-10dB

周波数共用条件 特定ラジオマイク

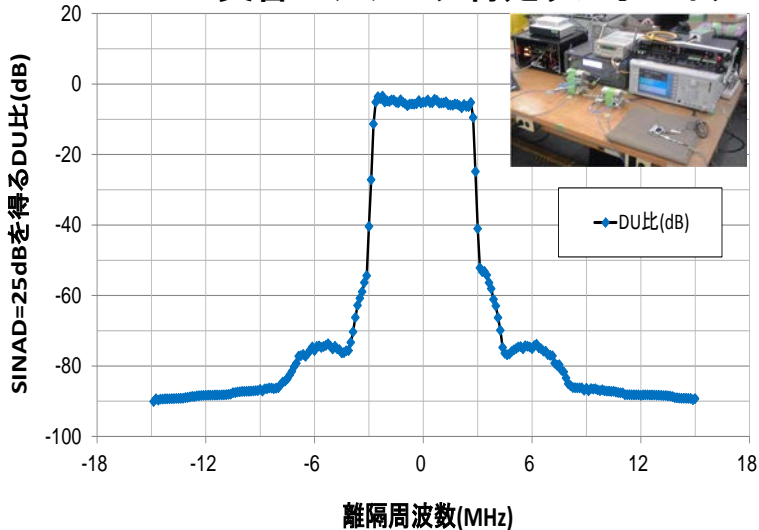
アナログ特定ラジオマイク⇒ TVWS災害(64QAM)



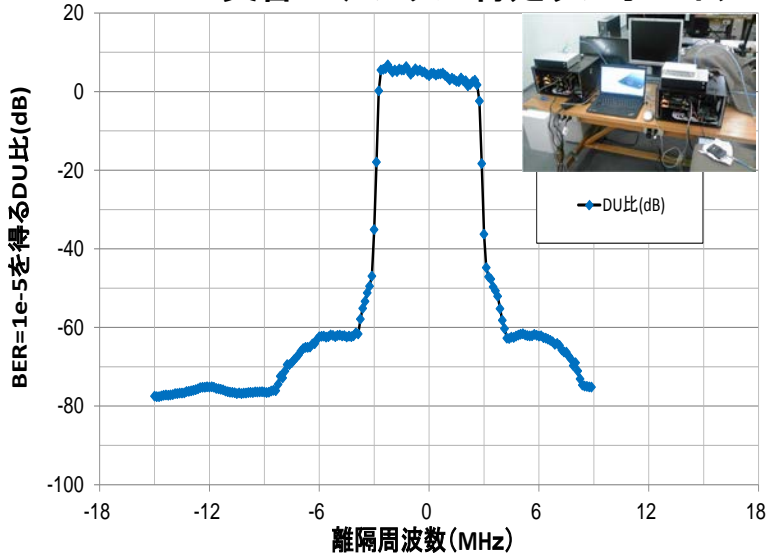
デジタル特定ラジオマイク⇒ TVWS災害(64QAM)



TVWS災害⇒アナログ特定ラジオマイク



TVWS災害⇒デジタル特定ラジオマイク



災害・防災向けデータ伝送システムの混信保護比

被干渉	与干渉	判定基準	DU比 (dB)		
			同一CH	隣接CH	隣々接CH
災害・防災向け伝送システム(64QAM)	アナログ特定ラジオマイクシステム	BER=2x10 ⁻⁴	16.6	-7.3	-49.2
	デジタル特定ラジオマイクシステム	BER=2x10 ⁻⁴	17.9	-11.2	-48.9

特定ラジオマイク(アナログ)の混信保護比

被干渉	与干渉	判定基準	DU比 (dB)		
			同一CH	隣接CH	隣々接CH
アナログ特定ラジオマイクシステム	災害・防災向けデータ伝送システム	SINAD=25dB	-3.4	-40.4	-86.4

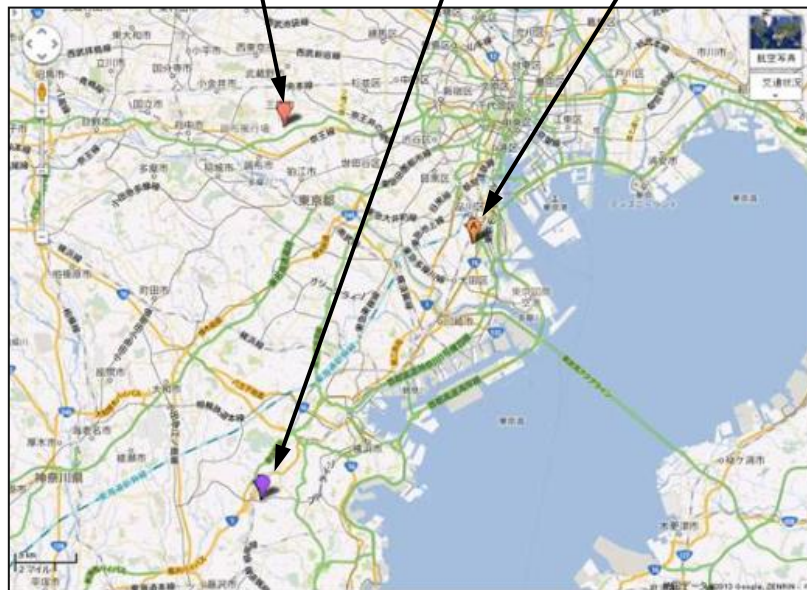
特定ラジオマイク(デジタル)の混信保護比

被干渉	与干渉	判定基準	DU比 (dB)		
			同一CH	隣接CH	隣々接CH
デジタル特定ラジオマイクシステム	災害・防災向けデータ伝送システム	BER=1x10 ⁻⁵	6.8	-35.1	-75.1

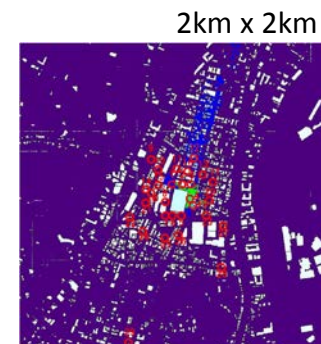
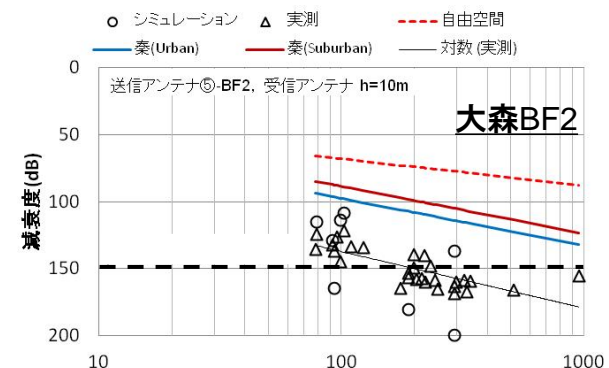
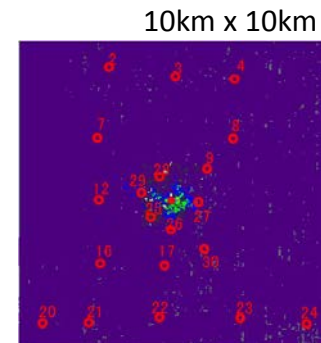
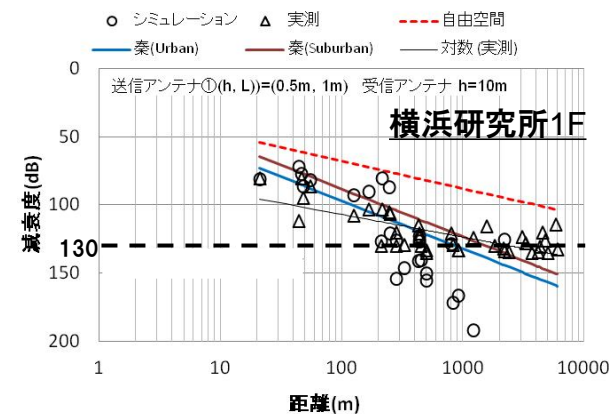
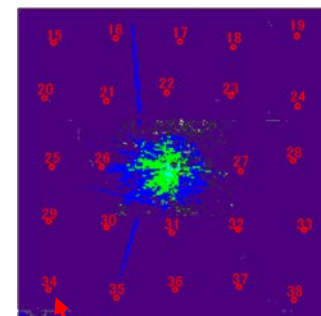
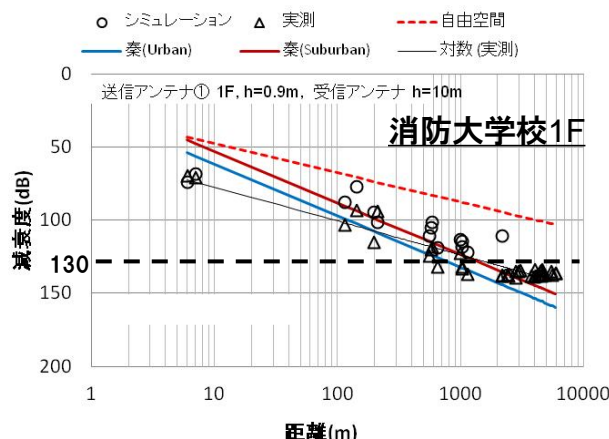
屋外漏洩電力の検討



	ケース1	ケース2	ケース3
運用場所	準屋内	屋内通常	屋内大規模
実証 実験場所	消防大学校 訓練棟	日立製作所 横浜研究所	大森 ベルポート 地下駐車場
送信点	1F,2F,3F,4F	1F,3F,6F	BF1*,BF2**
実験 送信電力	1mW	1mW	1mW*,1W**



電波伝搬シミュレーション



※ I/N=-10dBを得る減衰量 130dB:送信電力+10dBm、150dB:送信電力+30dBm

距離(m)

- 屋外漏洩電力の検討からTVホワイトスペースでの運用にあたり得られた知見と結果に付帯する注意事項を以下に示す。 **減衰量130dB:+10dBmの送信でI/N=-10dBに相当

結果	まとめ
<p>準屋内 消防大学校(周囲に低層建物、平坦な郊外)の1F～4Fからの発射で減衰量>130dB** 点は1.2km～2.2km</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・4F以下の使用において、同一チャネルのサービスエリア端から3kmの離隔距離で共用の可能性有り
<p>屋内 横浜研究所(周囲に同程度の高さの建築物、建物高さ以上の丘)の1F～6Fからの発射において、窓からの距離(1m/5m)による顕著な差はない。減衰量>130dB点は、3Fで2.2km、6Fで3.3km。建物高さ以上の地点で1dB～10dB高くなる傾向</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・3F以下は同一チャネルのサービスエリア端から3kmの離隔距離で共用の可能性有り ・上記距離付近に建物高さ以上の地点がある場合は、その方向に窓等の開口部がないあるいはシールド遮蔽幕等による減衰条件で共用の可能性有り
<p>屋内大規模 大森地下駐車場(周囲に同程度の高さの建築物)からのBF1、BF2からの発射において、出入り口の漏洩電力が支配的。減衰量>130dB点はBF1で300m。BF2で+30dBm(1W)を使用する場合の減衰量>150dB点は242m。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・開口部の漏洩電力を測定することで屋外への漏洩量を予見できる可能性有り ・BF1(+10dBm)で400m、BF2(+30dBm)で300mの離隔距離で共用の可能性有り、また、開口部をシールド遮蔽幕等による減衰条件で離隔距離短縮の可能性有り

■ 訓練場所における運用

- 災害・防災向けデータ伝送システムの運用時には、一次利用システムへの干渉回避と、二次利用システムとの運用調整が必要である。そのため、TVホワイトスペース利用システム運用調整連絡会で既に行われている特定ラジオマイクとエリア放送に加えて運用調整することが望ましい。

■ 災害現場における運用

- 災害時にロボットを使用する可能性の高い場所を予めリストアップし、各仕様場所における使用チャンネル、出力を予め免許する。
- しかしながら、訓練と異なり災害発生時に一時的に利用されることが想定される。このため、干渉可能性がある他のホワイトスペース利用システムとの間の運用調整手順やルール等について、定型的なひな型を整備することの可否を免許人として想定される者において検討しておくことが望ましい。

訓練場所と災害現場における運用

既にロボットが配備されている都市(札幌、東京、名古屋、大阪、福岡)において消防訓練や実際の災害でロボットを使用する可能性の高い箇所についてP-MAPによる空きチャネルの検討を行った。

検討条件は情報通信審議会のエリア型放送の資料を参考にした。災害ロボットの運用において屋外に10mWの漏洩電力がある想定で行った。結果を右表[A]に示す。

出力電力:10mW (屋外への漏洩電力)
アンテナパターン:

垂直偏波(全方位) : 2.14dB
水平偏波(全方位) : -0.86dB

また、送信電力10mWでは空きチャネルが存在しない箇所については送信電力を低減させて空きチャネルの有無を確認した。その結果を右表[B]に示す。

地域	名称	住所	緯度	経度	空きCH	
					空きCH	空きCH数
札幌	中央消防署	札幌市中央区南4条西10丁目	43.17	141.2033	32,36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	11
	JR地下鉄大通駅	札幌市中央区大通西2-4丁目	43.339	141.21.18	36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	10
	北海道札幌駅	札幌市北区北6条西3丁目	43.47	141.21.2	36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	10
	北海道大学	札幌市北区北9条西5丁目	43.432	141.2036	36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	10
	丘陸空港	札幌市東区丘陸町	43.638	141.22.55	17,27,28,35,36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	14
	新さっぽろ駅	札幌市南区厚別中央2条5丁目	43.219	141.28.20	28,36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	11
	札幌ドーム	札幌市豊平区平ヶ丘1番地	43.054	141.24.34	28,31,32,36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	13
	北海道警察特務中部	札幌市南区真駒内南町6丁目	42.58.37	141.21.0	28,31,32,36,52	5
	札幌市消防学校	札幌市西区八軒10条西13丁目	43.6.12	141.18.7	36,37,39,41,43,45,47,49,51,52	10
	消防学校	渋谷区西原2-51-1	35.40.19	139.40.24	38,40	2
	消防出初式	江東区有明3-11-1	35.38.1	139.48.1	14,35,37,42	4
	NHK	渋谷区神南2-2-1	35.39.55	139.41.46	14,35,38,40,42	5
	第9方面隊練場	八王子市小宮町336	35.41.20	139.22.32	49,50,51,52	4
	東京ビッグサイト	江東区有明3-11-1	35.37.45	139.47.41	14,35	2
東京	学芸大学	小金井市糞井北町4-1-1	35.42.23	139.29.24	-	0
	第2方面隊練場	大田区荻浜島1-1-4	35.34.24	139.45.27	19,35,42	3
	第6方面隊練場	足立区新田3-37-1	35.46.8	139.45.8	13,14,34,35,38,40,41,44,47,48,50,52	12
	アイトープ協会	文京区本駒込2-28-45	35.43.51	139.44.58	31	1
	東京都庁	新宿区西新宿2-8-1	35.41.21	139.41.30	38,40	2
	東京駅	千代田区丸の内1-9-1	35.40.53	139.46.2	13,14,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44	13
	新宿駅	新宿区新宿3-38-1	35.41.27	139.42.1	38,40	2
	新宿駅東口地下街	新宿区歌舞伎町1サブナード	35.41.36	139.42.6	38,40	2
	池袋駅	豊島区西池袋1-1-1	35.43.48	139.42.41	-	0
	特別消防隊第一方面隊	名古屋市港区金城ふ頭一丁目1番地の3	35.3.17	136.51.10	33,35,36,37,38,40,41,43,45,47,52	11
	特別消防隊第二方面隊	名古屋市西区南古野二丁目29番16号	35.10.31	136.53.10	33,35,36,37,38,40,41,47,52	9
	特別消防隊第三方面隊	名古屋市北区上飯田南町4丁目1番地の11	35.12.7	136.56.9	33,34,35,36,37,38,39,40,41,47,52	11
	特別消防隊第四方面隊	名古屋市瑞穂区田辺通5丁目9番地	35.7.20	136.56.50	33,35,36,37,38,40,41,47,52	9
	名古屋市消防学校	名古屋市守山区下志段味長瀬2280	35.14.10	137.1.14	25,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,47,52	13
名古屋港	名古屋市港区港町1	35.5.23	136.52.50	33,35,36,37,38,40,41,47,52	9	
名古屋駅地下街	名古屋市中村区名駅四丁目	35.10.14	136.52.54	33,35,36,37,38,40,41,47,52	9	
栄地下街	名古屋市中区栄三丁目	35.10.14	136.54.32	33,35,36,37,38,40,41,47,52	9	
大阪	大阪市消防局	大阪市西区九条南1-12-54	34.40.12	135.28.25	43,50,52	3
	大阪市消防学校	東大阪市三島	34.41.25	135.35.48	20,34,43	3
	舞洲消防訓練用地	大阪市此花区北港緑地1	34.39.51	135.24.1	19,50,52	3
	ATC(アジア太平洋トレードセンター)	大阪市住之江区南港北2-1-9	34.38.10	135.24.51	43,50,52	3
	大阪市役所	大阪市北区中之島1-3-20	34.41.37	135.30.7	-	0
	豊島屋建設株式会社 石油埠頭	大阪市此花区南港2-6-65	34.39.12	135.24.56	50,52	2
	住友化学	大阪市此花区春日山南3	34.40.37	135.26.57	50,52	2
	新大阪駅	大阪市淀川区西中島5	34.44.0	135.30.0	50,52	2
JR大阪駅	大阪市北区梅田3	34.42.9	135.29.47	-	0	
福岡	東消防署	福岡市東区千早4-15-1	33.38.50	130.26.17	15,37,39,47,48,49,50,51,52	9
	東消防署多々良出張所	福岡市東区土井1-23-21	33.38.10	130.27.45	15,37,39,41,47,48,51	7
	博多消防署	福岡市博多区博多駅前4-19-7	33.35.5	130.25.9	15,37,39,41,47,48,51	7
	早良消防署	福岡市早良区西渡辺1-3-1	33.35.21	130.21.19	15,37,39,48,51	5
	西鉄福岡駅コンコース	福岡市中央区天神二丁目11番2号	33.35.20	130.23.58	15,37,39,41,47,48,51	7
	福岡yahoodーム	福岡市中央区地行浜2-2-2	33.35.42	130.21.43	15,37,39,48,51	5
	マリネット福岡	福岡市博多区沖浜町7-1	33.36.26	130.24.7	15,37,39,48,51	5
B	東京	学芸大学	出力電力低減(-9dB)	29,31	2	
			出力電力低減(-10dB)	29,31,38,40	4	
	東京	池袋駅	出力電力低減(-1dB)	34	1	
			出力電力低減(-2dB)	14,34,42	3	
	大阪	大阪市役所	出力電力低減(-1dB)	43	1	
			出力電力低減(-5dB)	34, 43	2	
大阪	JR大阪駅	出力電力低減(-6dB)	34	1		
		出力電力低減(-7dB)	20,34	2		

- 地上デジタル放送、特定ラジオマイク、自システムの周波数共用条件に関する検討を行い、混信保護基準のベースとなる値を示した。
- 消防大学校、横浜研究所および大森ベルポートの屋外漏洩電力の実験から、
 - TVホワイトスペース帯の屋内あるいは地下施設内からの電波伝搬は、自由空間伝搬損失や奥村・秦カーブ拡張モデルよりも伝搬損失が大きい。
 - 各運用場所において $I/N=-10\text{dB}$ を得る離隔距離が求められた。
 - 注意事項として、実験は無変調波(CW)を用いて測定点1か所の時間平均値を測定しているため、測定高や測定場所によっては本測定結果よりも高くなる場合もある。
- 運用可能チャンネルの確保手法として、消防の訓練施設や災害が発生した場合にロボットを用いる可能性のある箇所をリストアップし、それぞれにおける空きチャンネルの状況を調査するとともに、運用調整を行う仕組みを検討して、訓練場所における運用と災害現場における運用として既設の枠組みを利用した仕組みを提案する。